

Краевая научно-практическая конференция
учебно-исследовательских работ учащихся 9-11 классов
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Математическое моделирование

**Ландшафтное моделирование аварийных разливов нефти и
нефтепродуктов на магистральных нефтепродуктопроводах**

Филатов Вячеслав Александрович,
11 кл., МБОУ «Лицей №1», г. Пермь,
Соломонов Анатолий Борисович,
к.т.н., доцент ПНИПУ.

Пермь. 2014.

Содержание

Введение	3
1. Цифровые модели рельефа	4
1.1. Способы создания цифровых моделей рельефа	4
1.2. ASTER	5
1.3. SRTM	6
1.4. Вывод по разделу	7
2. Обработка цифровых моделей земной поверхности	8
2.1. Кубический сплайн	8
3. Ландшафтное моделирование аварийных разливов	11
4. Проверка математической модели на достоверность	13
5. Применение ландшафтного моделирования для минимизации экологических последствий аварий	16
Заключение	19
Список используемой литературы	20

Введение

Техногенные аварии на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах зачастую сопровождаются выбросами значительных количеств нефти и нефтепродуктов. Магистральные трубопроводы в основном прокладываются вне подготовленных и спланированных площадок, поэтому именно здесь значительное влияние на аварийные разливы нефти будут оказывать характеристики местности. Специфика подобных аварий заключается в том, что поведение растекающейся жидкости наряду с ее свойствами и действием закона тяготения будет обуславливаться как условиями местности (рельефом, наличием различных естественных и искусственных сооружений и преград, растительности и т.п.), так и характеристиками окружающей среды (погодой, климатом, составом грунтов).

Учитывая то, что линейная часть нефтепродуктопроводов имеет значительную протяженность, прогнозирование растекания жидкости по рельефу (ландшафту) может быть осуществлено посредством моделирования с применением методов, базирующихся на использовании ГИС-технологий.

Ландшафтное моделирование позволяет определить такие параметры аварийного разлива (кроме его конфигурации), как скорость распространения потока жидкости, количество нефти или нефтепродукта, аккумулированного рельефом (собранным неровностями поверхности), испарившегося с поверхности пролива, впитавшегося в грунт. Кроме того, появляется возможность прогнозирования загрязнения водных объектов с определением количества попавшего в них опасного вещества и оценкой экологического риска.

1. Цифровые модели рельефа

Первым шагом ландшафтного моделирования разливов нефтепродуктов и разработки на его основе прогнозов развития аварийных ситуаций является построение 3-х мерной модели исследуемого рельефа местности (ландшафта).

Под цифровой моделью рельефа (ЦМР) принято понимать средство цифрового представления 3-х мерных пространственных объектов (поверхностей, или рельефов) в виде 3-х мерных данных, образующих множество высотных отметок (отметок глубины) и иных значений координаты Z , в узлах регулярной или непрерывной сети или совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных изолиний. ЦМР – это особый вид 3-х мерных математических моделей, представляющих собой отображение рельефа как реальных, так и абстрактных поверхностей.

Решетка рельефа (матрица высотных отметок ландшафта) является основой для решения гидрологических задач анализа поведения жидких субстанций при их движении по рельефу местности под действием силы тяжести.

1.1. Способы создания цифровых моделей рельефа

С момента развития информационных систем и технологий, а также развития спутниковой отрасли появились различные методы и способы, дающие возможность построения ЦМР. Существует два кардинально различающихся способа получения данных для построения цифровых моделей рельефа.

Первый способ – это методы дистанционного зондирования и фотограмметрия. К таким методам создания цифровых моделей рельефа, относится метод радиолокационной интерферометрии. Он основан на использовании фазовой компоненты радиолокационного сигнала, отраженного от поверхности Земли. Точность восстановления ЦМР интерферометрическим методом составляет единицы метров, причем в зависимости от характера местности и уровня шумов сигнала она меняется. Для сглаженной поверхности и для интерферограммы высокого качества точность восстановления рельефа может достигать нескольких десятков сантиметров.

Также существует метод стереоскопической обработки радиолокационных данных. Для работы модуля необходимо наличие двух радарных изображений

снятых с разными углами наклона луча. Точность восстановления ЦМР стереоскопическим методом зависит от размера элемента пространственного разрешения снимка.

Технология воздушного лазерного сканирования (ВЛС) – наиболее быстрый полный и достоверный способ сбора пространственно-геометрической информации о труднодоступных (заболоченных и залесённых) территориях. Метод обеспечивает получение точных и детальных данных и о рельефе и о ситуации. Сегодня технология ВЛС позволяет в кратчайшие сроки получить полную пространственно-геометрическую информацию о рельефе местности, растительном покрове, гидрографии и всех наземных объектах в полосе съёмки

Второй способ – построение моделей рельефа путем интерполяции оцифрованных изолиний из топографических карт. Этот подход также не нов, имеет свои сильные и слабые стороны. Из недостатков можно назвать трудоемкость и порой недостаточно удовлетворительную точность моделирования. Но, несмотря на эти недостатки, можно утверждать, что оцифрованные топографические материалы еще несколько лет будут безальтернативными источниками данных для подобного моделирования.

1.2. ASTER

ASTER – усовершенствованный спутниковый радиометр теплового излучения и отражения (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

Продукт ASTER GDEM [1, 2] разработан совместно METI и NASA. ASTER GDEM был предоставлен системе GEOS и бесплатно доступен посредством загрузки из интернет через японский центр ERSDAC и LP DAAC NASA (рис. 1). Сенсор ASTER был создан METI и запущен на борту спутника NASA Terra в декабре 1999 года. Сенсор имеет возможность стереоскопической съёмки вдоль полосы пролета с помощью двух телескопов.

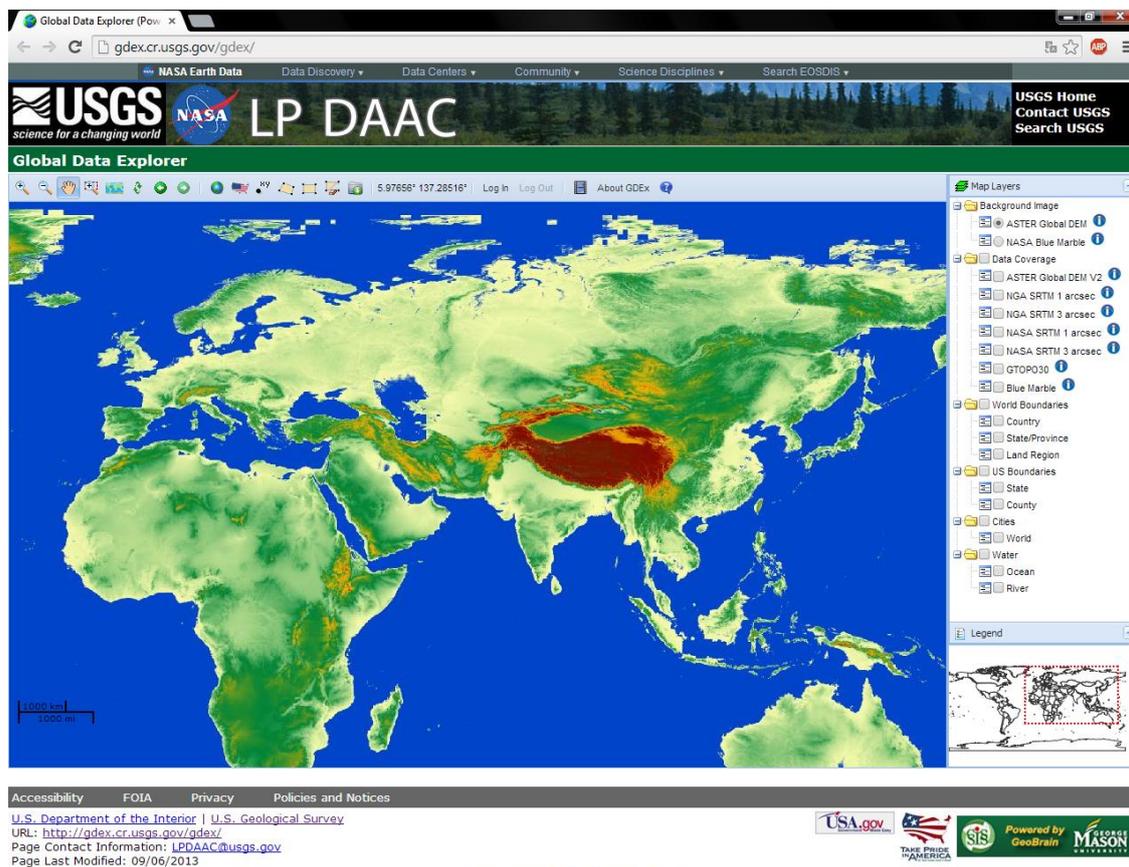


Рис. 1. Web-интерфейс сайта LP DAAC NASA

В основе этой технологии лежит метод стереоскопической обработки радиолокационных данных.

Общие параметры GDEM

ASTER GDEM охватывает поверхность суши между 83° с.ш. и 83° ю.ш. и насчитывает 22,600 фрагментов размером 1°x1°. Оставлены фрагменты, насчитывающие минимум 0.01% поверхности суши. ASTER GDEM распространяется в формате GeoTIFF в географической системе координат (широта/долгота) и разрешением 1 угловая секунда (примерно 30 метров). Система координат данных WGS84/EGM96. В таблице 1 сведены основные характеристики ASTER GDEM. Оценка точности (негарантированная) глобального продукта - 20 метров (95% доверительный интервал) для данных по вертикали и 30 метров (95% доверительный интервал) по горизонтали.

Таблица 1

Параметры ASTER GDEM

Размер фрагмента	3601 x 3601 (1°x1°)
Разрешение	1 угловая секунда (30 м)
Географические	Широта, долгота

координаты	
Выходной формат ЦМР	GeoTIFF, 16 бит с битом знака, система координат WGS84/EGM96
Специальные значения	-9999 для пробелов в данных, 0 для воды
Охват	83° с.ш. - 83° ю.ш., 22,600 фрагмента (Version 1)
Объем на диске	25 963 980 байт (около 26 мегабайт)

1.3. SRTM

Shuttle radar topographic mission (SRTM) [3] – радарная топографическая съемка большей части территории земного шара, за исключением самых северных, самых южных широт, а также океанов, произведенная за 11 дней в феврале 2000г с помощью специальной радарной системы. Двумя радиолокационными сенсорами SIR-C и X-SAR, было собрано более 12 терабайт данных.

В основе технологии лежит метод радиолокационной интерферометрии.

Общие параметры SRTM

SRTM охватывает поверхность между 60° с.ш. и 54° ю.ш. SRTM распространяется в форматах GeoTIFF в географической системе координат (широта/долгота) и разрешением 3 угловые секунды (примерно 90 метров). Система координат данных WGS84. Оценка точности – 16 метров (90% доверительный интервал) для данных по вертикали и 20 метров (90% доверительный интервал) по горизонтали.

Таблица 2

Параметры SRTM

Размер фрагмента	6000 x 6000 (5°x5°)
Разрешение	3 угловые секунды (90 м)
Географические координаты	Широта, долгота
Выходной формат ЦМР	GeoTIFF, 16 бит , система координат WGS84.
Специальные значения	-32768 для пробелов в данных, 0 для воды
Охват	60° с.ш. - 54° ю.ш.

2. Обработка цифровых моделей земной поверхности

Для адаптации и применения данных ASTER GDEM в целях ландшафтного моделирования аварийных разливов нефтепродуктов, а также получения более высокой точности 3-х мерной модели рельефа местности нами разработан специальный алгоритм с применением сплайнового моделирования.

Сплайн (интерполяция) – способ нахождения промежуточных значений величины по имеющемуся набору известных значений.

На основании полученных данных требуется построить функцию, на которую могли бы с высокой точностью попадать другие получаемые значения. Такая задача называется аппроксимацией.

Аппроксимация или приближение – научный метод, состоящий в замене одних объектов другими, в каком-то смысле близкими к исходным, но более простыми. Аппроксимация позволяет исследовать числовые характеристики и качественные свойства объекта, сводя задачу к изучению более простых или более удобных объектов

Интерполяцией называют такую разновидность аппроксимации, при которой кривая построенной функции проходит точно через имеющиеся точки данных.

В основе алгоритма лежит кубический сплайн.

2.1. Кубический сплайн

Пусть некоторая функция $f(x)$ задана на отрезке $[a, b]$, разбитом на части $[x_{i-1}, x_i]$, $a = x_0 < x_1 < \dots < x_N = b$. Кубическим сплайном называется функция $S(x)$, которая:

на каждом отрезке $[x_{i-1}, x_i]$ является многочленом степени не выше третьей;

имеет непрерывные первую и вторую производные на всём отрезке $[a, b]$;

в точках x_i выполняется равенство $S(x_i) = f(x_i)$, т. е. сплайн $S(x)$ интерполирует функцию f в точках x_i .

Для однозначного задания сплайна перечисленных условий недостаточно, для построения сплайна необходимо наложить какие-то дополнительные требования.

Естественным кубическим сплайном называется кубический сплайн, удовлетворяющий также граничным условиям вида:

$$S''(a) = S''(b) = 0.$$

Теорема: Для любой функции f и любого разбиения отрезка $[a, b]$ существует ровно один естественный сплайн $S(x)$, удовлетворяющий перечисленным выше условиям.

Эта теорема является следствием более общей теоремы Шёнберга-Уитни об условиях существования интерполяционного сплайна.

Построение

Обозначим: $h_i = x_i - x_{i-1}$

На каждом отрезке $[x_{i-1}, x_i]$ функция $S(x)$ есть полином третьей степени $S_i(x)$, коэффициенты которого надо определить. Запишем для удобства $S_i(x)$ в виде:

$$S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + \frac{c_i}{2}(x - x_i)^2 + \frac{d_i}{6}(x - x_i)^3$$

тогда

$$S_i(x_i) = a_i, \quad S_i'(x_i) = b_i, \quad S_i''(x_i) = c_i$$

Условия непрерывности всех производных до второго порядка включительно записываются в виде

$$\begin{aligned} S_i(x_{i-1}) &= S_{i-1}(x_{i-1}) \\ S_i'(x_{i-1}) &= S_{i-1}'(x_{i-1}) \\ S_i''(x_{i-1}) &= S_{i-1}''(x_{i-1}) \end{aligned}$$

а условия интерполяции в виде

$$S_i(x_i) = f(x_i)$$

Отсюда получаем формулы для вычисления коэффициентов сплайна:

$$a_i = f(x_i)$$

$$h_i c_{i-1} + 2(h_i + h_{i+1})c_i + h_{i+1}c_{i+1} = 6 \left(\frac{f_{i+1} - f_i}{h_{i+1}} - \frac{f_i - f_{i-1}}{h_i} \right)$$

$$d_i = \frac{c_i - c_{i-1}}{h_i}$$

$$b_i = \frac{1}{2}h_i c_i - \frac{1}{6}h_i^2 d_i + \frac{f_i - f_{i-1}}{h_i} = \frac{f_i - f_{i-1}}{h_i} + \frac{h_i(2c_i + c_{i-1})}{6}$$

Если учесть, что $c_0 = c_n = 0$, то вычисление c можно провести с помощью метода прогонки для трёхдиагональной матрицы.

На рис. 3 приведен пример результатов обработки данных ASTER GDEM.

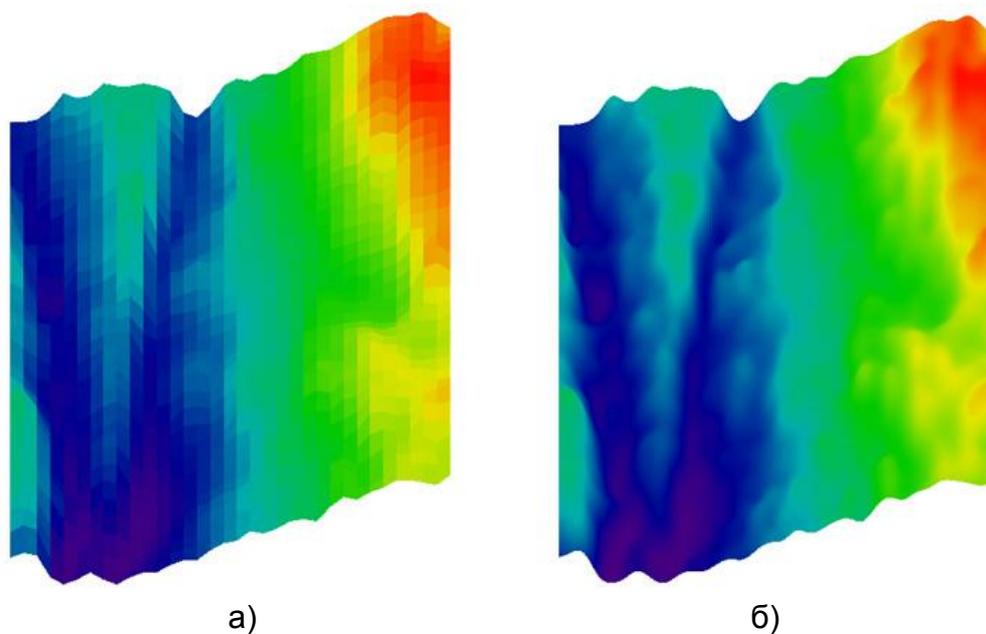


Рис. 3. Пример 3-х мерной модели рельефа местности, построенной по данным ASTER GDEM
а) до применения алгоритма сплайнового моделирования (шаг сетки 30×30 м);
б) после применения алгоритма сплайнового моделирования (шаг сетки 3×3 м).

Таким образом, для решения гидрологических задач анализа поведения жидкости создается 3-х мерная модель реального рельефа местности с любой заданной точностью.

3. Ландшафтное моделирование аварийных разливов

Вторым шагом ландшафтного моделирования аварийных разливов является определение русла потока жидкости и аккумулирующей способности элементов модели рельефа. Динамическая ось потока (русло потока) определяется методом градиентного спуска для каждой расчетной точки матрицы рельефа. Ширина русла потока жидкости зависит как от интенсивности аварийного выброса, времени истечения и реологических свойств жидкости, так и от гидравлического уклона местности, сорбционных свойств почвы (грунта).

Неустановившееся движение жидкости по рельефу местности описывается уравнением неразрывности с соответствующими начальными и граничными условиями:

$$\rho_{ж} \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{dh}{dt} n_e \cdot \rho_{гп} + q_{исп} = 0$$

где $\rho_{ж}$, $\rho_{гп}$ – плотность жидкости и грунта, кг/м³;

h – глубина фильтрации жидкости в грунт (почву), определяемая по уравнению диффузии [6];

n_e – нефтеемкость грунта, м³/м³;

$q_{исп}$ – интенсивность испарения вещества с поверхности, кг/(м²·с) [7÷9];

V – скорость течения жидкости в направлении динамической оси потока (в русле потока), определяемая по уравнению Шези [6]:

$$V = C \cdot \sqrt{R_r \cdot i}$$

где C – коэффициент Шези, зависящий от свойств поверхности грунта [6];

R_r – гидравлический радиус потока жидкости, определяющий ширину русла потока, м;

i – гидравлический уклон рельефа местности.

В результате решения численными методами вышеуказанной системы уравнений получаем кинетику аварийного разлива, которая связана с градиентами местности конкретной топографии, вызывающими градиенты гидростатических давлений. Окончательная геометрия зоны растекания фиксируется при достижении нулевых градиентов разлива, т.е. при полном квазистационарном равновесии.

Моделирование растекания нефтепродукта по ландшафту осуществляется, как отмечено выше, с учетом потерь вещества за счет испарения, фильтрации в

грунт, сбора неровностями поверхности. По результатам моделирования выявляется конфигурация зоны разлива нефтепродукта, определяется площадь загрязнения.

Приведенные выше алгоритмы ландшафтного моделирования реализованы в виде компьютерной программы – модуля для экспертного программного комплекса «FORS» [10]. Пример интерфейса программного комплекса «FORS» приведен на рис. 4.

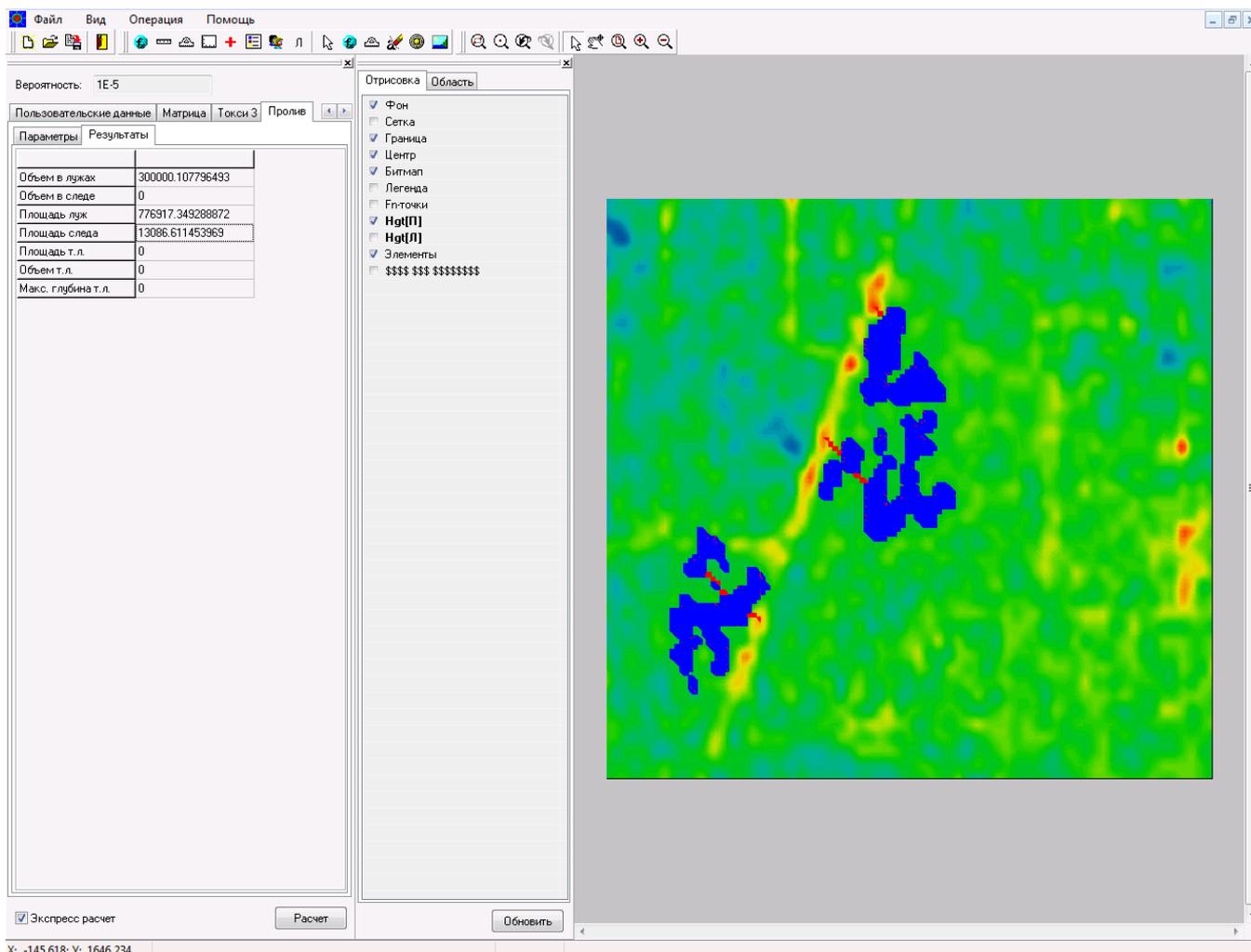


Рис. 4. Интерфейс программного комплекса «FORS»

На рис. 5. приведен пример ландшафтного моделирования разливов нефти при возможных авариях на участке магистрального нефтепровода.

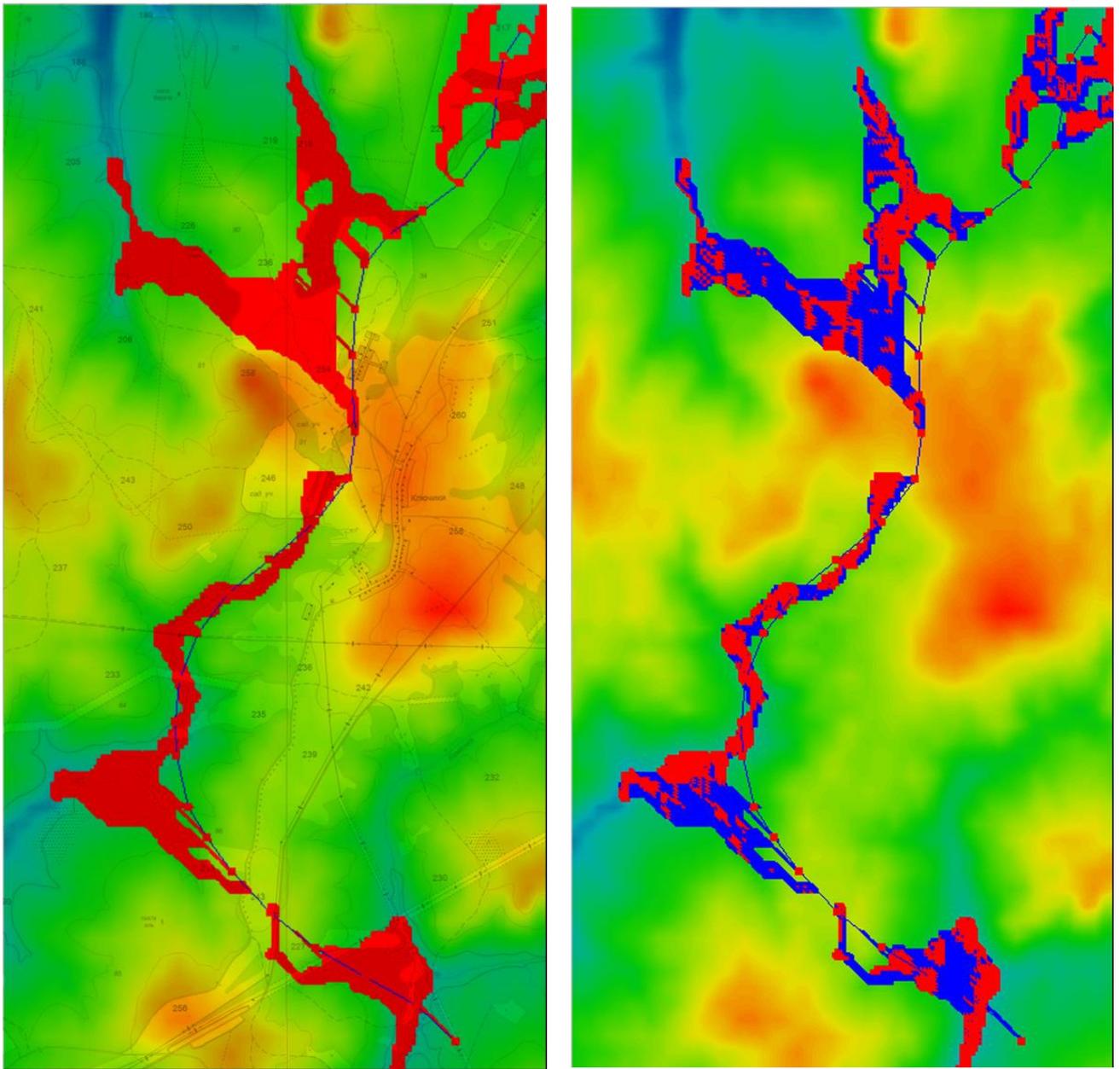


Рис. 5. Зоны разливов нефти при возможных авариях на участке магистрального нефтепровода

- а) общая площадь загрязнения нефтью в результате аварий вдоль трассы нефтепровода;
- б) красный цвет – площадь «луж», т.е. тех мест на рельефе, в которых на момент квазистационарного равновесия имеется уровень нефти;
- синий цвет – площадь «шлейфа (следа)», т.е. тех мест на рельефе, по которым растекалась нефть, но к концу процесса растекания вся жидкая фаза была потеряна за счет испарения и фильтрации в грунт (почву).

4. Проверка математической модели на достоверность

Для проверки предлагаемой математической модели на достоверность (верификации) проведено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными (данными натуральных экспериментов).

Кроме того, представляет практический интерес сравнение предлагаемой модели растекания с существующими моделями других авторов [12].

Так, в 2003 г. Центром исследований экстремальных ситуаций (г. Москва) совместно со специалистами Военно-инженерного университета (г. Москва) был поставлен эксперимент в полевых условиях по разливу нефти [11].

Всего в эксперименте было вылито на местность 220 л (185 кг) сырой нефти в течение 41 с со средним расходом 5.4 л/с. Нефть растеклась по площадке в течение 120 с, образовав нефтяное пятно площадью 9.77 м².

На рис. 6 приведено сравнение данных, полученных по предлагаемой модели, результатов эксперимента [11] и данных, полученных по модели [12].

Из рис. 6 видно, что предлагаемая модель растекания жидкости достаточно хорошо согласуется с данными натурального эксперимента, а также с результатами моделирования по модели, описанной в [12].

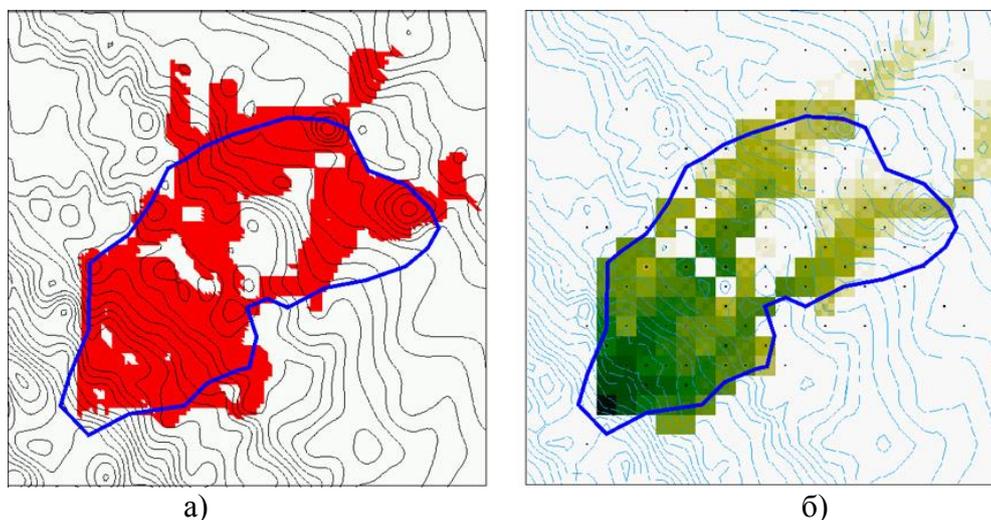


Рис. 6. Верификация предлагаемой модели растекания жидкости по ландшафту
(синяя линия – реальная область распространения нефти по данным эксперимента [11] (площадь пролива – 9.77 м²)).

а) красный цвет – результаты ландшафтного моделирования по предлагаемой модели (площадь пролива – 9.97 м²);

б) градиентная заливка – расчетные данные по модели [12].

На рис. 7 показано сравнение результатов моделирования по предлагаемой модели с фактологическими данными реальной аварии с выбросом нефти вблизи г. Бимиджи.

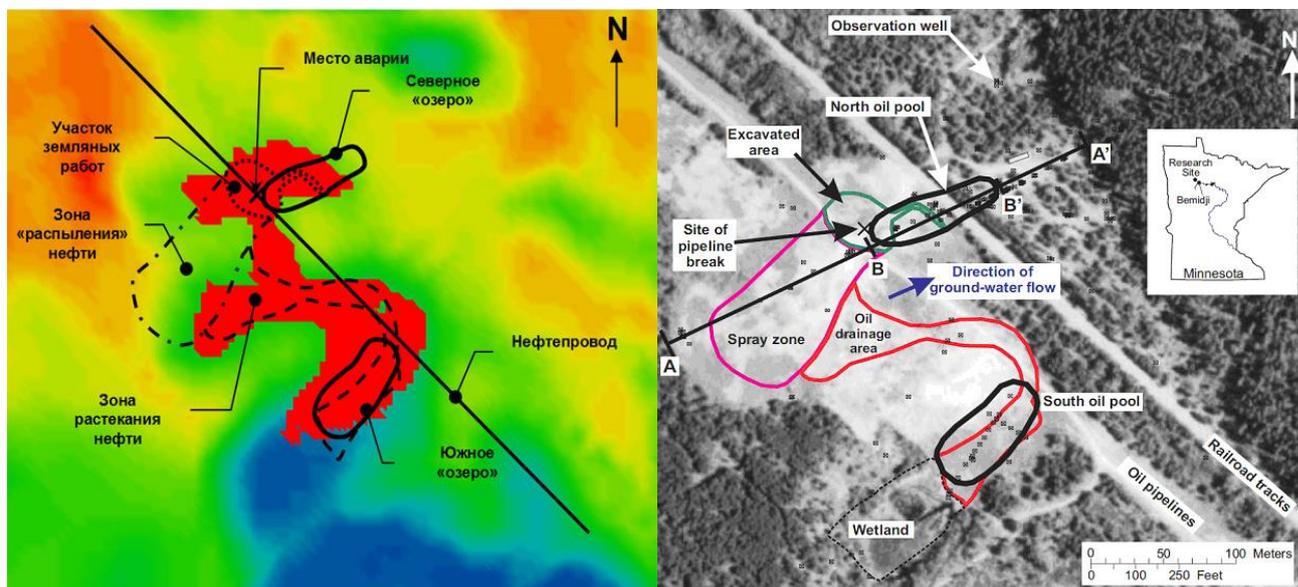


Рис. 7. Сравнение результатов моделирования с фактологическими данными реальной аварии

- а) результаты моделирования по предлагаемой модели (площадь пролива – 15674 м²);
- б) фактологические данные аварии вблизи г. Бимиджи (площадь пролива – 19150 м²).

В 1979 г. вблизи г. Бимиджи, штат Миннесота (США) произошел разрыв нефтепровода. При аварии на местность вылилось 10700 баррелей (1712 м³) нефти. Площадь загрязнения составила 19150 м². Часть нефти перетекла в пониженные части рельефа и собралась в двух нефтяных «озерах», откуда был осуществлен ее сбор.

Точные данные о местоположении аварии, количестве и времени разлива позволили сравнить результаты моделирования с известными фактологическими данными аварии.

Сравнительный анализ данных моделирования и реальной аварии показал, что зона разлива (характер растекания) нефти по предлагаемой модели в целом коррелирует с зоной загрязнения, зафиксированной после аварии – погрешность не превышает 20 %.

Следует отметить, что при аварии на нефтепроводе была зафиксирована так называемая зона «распыления» нефти («spray zone», рис. 4), образующаяся в результате открытого фонтанирования нефти из аварийного нефтепровода.

При расследовании аварии площадь зоны «распыления» отдельно не оценивалась и была включена в общую площадь загрязнения в результате аварии. Учитывая тот факт, что указанная зона не имеет непосредственного отношения к зоне распространения пролива, логично предположить, что погрешность между расчетными и фактическими данными по площади пролива может значительно снизиться.

5. Применение ландшафтного моделирования для минимизации экологических последствий аварий

Ландшафтное моделирование предоставляет новые возможности для анализа поведения потоков нефти при аварийном выбросе с целью прогнозирования и снижения экологического риска при авариях на магистральных нефтепродуктопроводах.

Примечательно то, что ландшафтное моделирование может быть применено не только при анализе аварий на магистральных нефтепродуктопроводах, прокладываемых по различным неоднородным рельефам, но и при анализе аварий на спланированных промышленных площадках крупных предприятий, содержащих на своей территории склады нефти и нефтепродуктов или других опасных веществ с большими единичными емкостями.

В качестве примера рассмотрим аварию в цехе предприятия, имеющего в своем составе товарно-сырьевую базу с резервуарами значительной емкости (полное аварийное раскрытие вертикального резервуара объемом 20000 м³, содержащего ЛВЖ).

Из рис. 8 видно, что территория, на которой расположен рассматриваемый объект, имеет выраженный уклон в западном направлении.

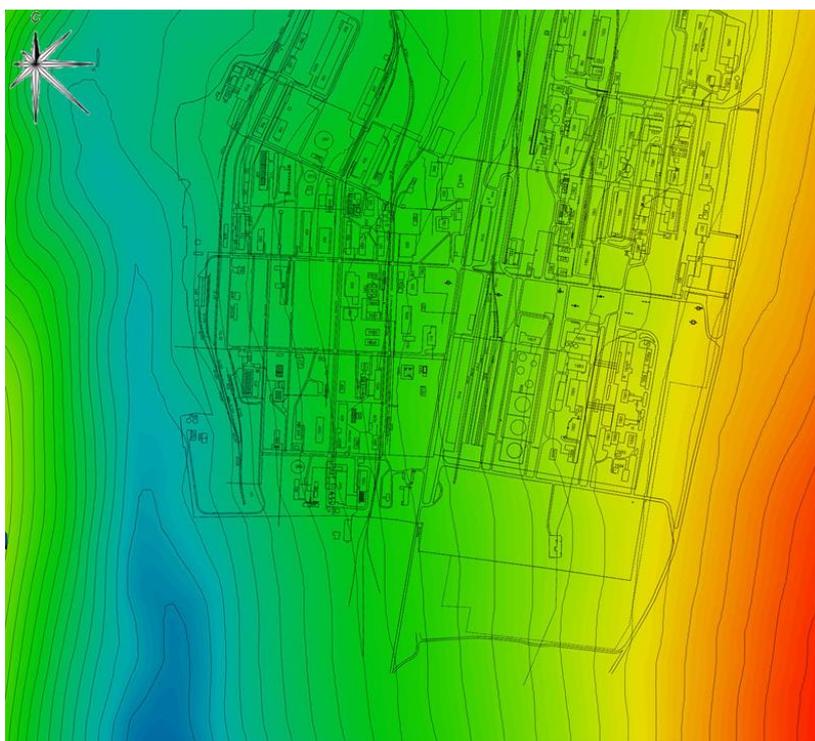


Рис. 8. Рельеф местности в районе расположения рассматриваемого объекта

На рис. 9 представлены результаты ландшафтного моделирования аварии на рассматриваемом объекте. Рисунок иллюстрирует реальную зону растекания опасного вещества с учетом рельефа и расположения зданий и сооружений на промплощадке предприятия.



Рис. 9. Результаты ландшафтного моделирования аварии на рассматриваемом объекте

Площадь области распространения аварийного пролива может быть уменьшена внесением искусственных изменений в рельеф, таких как используемые в нефтедобывающей промышленности обвалования и дамбы. Обвалования изменяют направления потоков загрязнителя, а дамбы задерживают загрязнитель, образуя удерживающие жидкость «резервуары» в земле. Выбор оптимального решения для снижения экологического риска при авариях на нефтепроводах и нефтяных предприятиях требует проведения многократных расчетов. Меняться могут как предполагаемые точки повреждения трубопроводов (исходные точки для расчета областей распространения), так и соответствующие варианты искусственных изменений рельефа. Выбор решения с наименьшим

экологическим риском происходит путем перебора многочисленных вариантов этих параметров с проведением расчетов для каждого варианта.

На рис. 10 проиллюстрирован пример использования дамб для предотвращения распространения опасного вещества по промплощадке предприятия и снижения площади его разлива, что повлечет за собой снижение зон загрязнения и, следовательно, показателей экологического риска.



Рис. 10. Зона аварийного разлива при использовании дамб

Заключение

Ландшафтное моделирование предоставляет новые возможности для анализа поведения потоков нефти при аварийном выбросе с целью прогнозирования и снижения экологического риска. Для минимизации (оптимизации) экологического риска рассчитываются карты областей распространения при различных искусственных изменениях рельефа (сооружение обвалований и дамб). Обсуждаются пути решения обратной задачи о независимой оценке количества вылитой нефти по форме пятна поверхностного загрязнения, рельефу и характеристикам почв.

Результаты ландшафтного моделирования могут быть использованы при разработке защитных или компенсирующих мероприятий по снижению экологического риска на опасных производственных объектах.

Метод ландшафтного моделирования может предоставить контролирующим организациям новые возможности в плане независимой оценки зон загрязнения при авариях на магистральных нефтепродуктопроводах.

Список используемой литературы

1. «ASTER Global Digital Elevation Map». NASA. 2009-06-29. Archived from the original on 3 July 2009. Retrieved 2009-06-30.
2. «Nasa satellite map reveals 99% of Earth's land surface for first time». Daily Mail. 2009-07-01. Retrieved 2009-07-01.
3. The shuttle radar topography mission. / Farr Tom G., Hensley Scott, Rodriguez Ernesto, Martin Jan, Kobrick Mike. // CEOS SAR Workshop. Toulouse 26-29 Oct. 1999. Noordwijk. 2000, с. 361-363.
4. Nikolakopoulos, K. G.; Kamaratakis, E. K; Chrysoulakis, N. (10 November 2006). «SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece». International Journal of Remote Sensing 27 (21). ISSN 4819–4838. Retrieved July 1, 2009
5. Hirt, C.; Filmer, M.S.; Featherstone, W.E. (2010). «Comparison and validation of recent freely-available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia.». Australian Journal of Earth Sciences 57 (3): 337–347. Retrieved May 5, 2012.
6. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы / Т.М. Башта и др. - М.: Машиностроение, 1977. - 504 с.
7. Хлуденев С.А., Рябчиков Н.М., Шумихин А.Г. К вопросу о кинетике испарения опасных веществ с поверхности аварийных проливов на объектах нефтехимического профиля // Промышленная и экологическая безопасность. – 2007 – № 4. – С. 61-62.
8. Хлуденев С.А., Лисков Р.А. Экспертный программный комплекс для моделирования процесса нестационарного испарения опасных веществ с поверхности горячих аварийных проливов («VAPOUR»). Свидетельство об официальной регистрации № 2006612255. М.: Роспатент РФ, 2006.
9. Хлуденев С.А., Хлуденев А. Г., Рябчиков Н.М., Селезнев Г.М. Математическое описание процесса нестационарного испарения опасных веществ с поверхности аварийных проливов // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 11.
10. Хлуденев С.А., Лисков Р.А. Экспертный программный комплекс для оценки аварийного риска опасных производственных объектов химического профиля («FORS»). Свидетельство об официальной регистрации № 2005612347. М.: Роспатент РФ, 2005.
11. Шарый П.А. Экспериментальное изучение разлива нефти из точки // Отчет о научно-исследовательской работе Центра исследований экстремальных ситуаций (ЦИЭКС) и научного руководителя работ Шарого П.А. Москва: ЦИЭКС, 2003. 35с.
12. Шарая Л.С., Шарый П.А. Анализ аварийных разливов нефти на суше и ситуационные игры для уменьшения экологических рисков // Известия Самарского научного центра РАН, спец. выпуск «Актуальные проблемы экологии», вып.4, 2005, с.323-332.